

Lautrey, J. (2003). La psychologie différentielle à l'épreuve de la variabilité intraindividuelle. In A. Vom Hofe, H. Charvin, J.-L. Bernaud, & D. Guédon (Eds.), *Psychologie différentielle – recherches et réflexions* (pp. 9-28). Rennes : PUR

# La psychologie différentielle à l'épreuve de la variabilité intraindividuelle

Jacques Lautrey<sup>1</sup>

## Introduction

La psychologie différentielle a pris pour objet d'étude la variabilité interindividuelle (variabilité inter dans ce qui suit) et les invariants qu'elle cherche à en extraire sont les différences stables entre les personnes, par exemple les traits de caractère ou les facteurs de l'intelligence. Au regard de cet objectif, la variabilité intraindividuelle (variabilité intra dans ce qui suit) a le plus souvent été considérée comme un bruit parasite ou l'effet d'erreurs de mesure que les méthodes de la psychologie différentielle doivent neutraliser. C'est ce choix épistémologique et méthodologique que je me propose de mettre en question.

Commençons par distinguer deux grandes formes de variabilité intra. La première a trait aux variations du comportement d'un même individu en fonction des variations de la situation (par exemple variation de la performance, variation de la stratégie). Dans l'approche différentielle, cette première source de variabilité intra est neutralisée par la standardisation de la situation. On considère en effet que les différences entre les individus ne peuvent être valablement mesurées que si la situation est rigoureusement la même pour tous. C'est une des règles de base de la méthode des tests. Une seconde sorte de variabilité intra est celle qui a trait aux variations du comportement d'un même individu dans une même situation – une situation standardisée donc – en fonction des occasions de mesure. Dans l'approche différentielle, la recherche de la fidélité maximale de la mesure a pour objectif de neutraliser cette seconde source de variabilité.

---

<sup>1</sup> Université de Paris 5 – Laboratoire Cognition et Développement – Equipe Cognition et Différenciation - 71 Avenue Edouard Vaillant. 92 774. Boulogne –Billancourt. Mél. : Jacques.Lautrey@psycho.univ-paris5.fr

Or il n'est plus possible aujourd'hui d'assimiler la variabilité intra à l'erreur de mesure. Une part au moins de cette variabilité semble jouer un rôle fondamental dans les mécanismes de la cognition et doit donc être prise en compte par toute recherche fondamentale en psychologie cognitive. Ce changement dans le statut épistémologique de la variabilité intra met en question certains des postulats sur lesquels s'appuient les méthodes de la psychologie différentielle. C'est en ce sens que la psychologie différentielle me paraît être mise à l'épreuve de la variabilité intra.

L'argumentation sur laquelle repose cette opinion sera développée en deux parties. La première sera consacrée aux évolutions théoriques qui ont contribué à modifier le statut épistémologique de la variabilité intra. La seconde sera consacrée à l'examen des implications de ce changement de statut pour les méthodes statistiques sur lesquelles s'appuie classiquement l'approche différentielle. La psychologie différentielle peut-elle réviser son approche de la variabilité intra sans renoncer sa spécificité ? Telle est la question qui sera discutée dans la conclusion à la suite de ces deux parties.

## **Le changement de statut épistémologique de la variabilité intra**

Deux courants d'idées ont fortement contribué à l'évolution du statut de la variabilité dans la période récente. Le premier est celui qui a généralisé le cadre conceptuel de la théorie de l'évolution à d'autres niveaux d'observation que celui de l'espèce. Le second est celui qui a généralisé les modèles de l'auto-organisation à d'autres domaines que ceux de la physique et de la mathématique dont ils sont issus. L'un et l'autre de ces courants ont eu des répercussions sur notre discipline et ont inspiré, en psychologie, des modélisations accordant à la variabilité intra aussi bien qu'interindividuelle un statut fondamental dans l'adaptation des conduites.

## **Les modèles qui transposent le cadre conceptuel de la théorie de l'évolution au niveau des processus cognitifs**

Les deux exemples que j'ai choisis pour illustrer la transposition du cadre conceptuel de la théorie de l'évolution au niveau des processus cognitifs sont le modèle de la vicariance entre processus de Reuchlin (1978) et le modèle de choix entre stratégies de Siegler (1996). Mon intention n'est pas de présenter le détail de ces modèles, mais de mettre l'accent sur leur commune affiliation au fonctionnalisme et sur le fait qu'ils accordent un statut épistémologique équivalent à la variabilité intra et à la variabilité inter. Ce dernier point est fondamental pour la discussion du statut de la variabilité intra dans les méthodes de la psychologie différentielle.

### *Le modèle de vicariance entre processus de Reuchlin*

On ne trouve pas de référence explicite au cadre conceptuel de la théorie de l'évolution dans le modèle de la vicariance (Reuchlin, 1978, 1999 chap. 2) mais les mécanismes de variation, sélection et stabilisation y sont néanmoins transposés au niveau des processus cognitifs. Cette influence n'est donc pas

directe, mais passe par celle que le fonctionnalisme - lui-même issu de la théorie de l'évolution- a eu sur la psychologie. Nous y reviendrons.

Dans le modèle de la vicariance, la source principale de *variation* tient à la pluralité des processus qui sont susceptibles de remplir une fonction donnée et qui peuvent, de ce fait, se substituer les uns aux autres. Ces relations de substitution - de vicariance - entre processus, introduisent des degrés de liberté dans la façon dont peut être atteinte une finalité adaptative donnée. Une seconde source de variation réside dans le caractère probabiliste du modèle. Le processus qui, parmi tous ceux qui sont susceptibles de remplir la même fonction, est au sommet de la hiérarchie d'« évocabilité », est seulement celui qui a le plus de chances d'être activé mais il ne le sera pas toujours pour autant. Du fait de son caractère probabiliste, le modèle inclut donc aussi une source de variation stochastique.

Le mécanisme de *sélection* entre les différents processus potentiellement capables de remplir une même fonction est fourni par la notion d'évocabilité. A chacun des processus qui sont en compétition pour remplir une même fonction est attachée une probabilité d'évocation sur la base de laquelle se fait la sélection du processus finalement activé.

Le mécanisme de *stabilisation* des comportements qui réussissent est assuré par la formation d'une hiérarchie d'évocabilité qui assure une reproduction plus fréquente des processus qui ont déjà réussi dans le passé pour un individu donné dans une situation donnée.

A situation constante, les degrés de liberté introduits par la relation de vicariance entre processus autorisent des préférences individuelles dans le choix de tel ou tel des processus équi-fonctionnels. Ces degrés de liberté sont ainsi à l'origine d'une *variabilité inter* de la stratégie cognitive. Ils autorisent aussi, à individu constant cette fois-ci, la substitution d'un processus à un autre lorsque la situation varie et sollicite plus fortement un autre processus que celui actuellement utilisé. La pluralité des processus en compétition pour remplir une même fonction engendre donc aussi *une variabilité intra* des stratégies au cours du temps, en fonction des variations de la situation ou de la composante stochastique du modèle. On remarquera au passage que ce sont les mêmes caractéristiques fondamentales du fonctionnement, la redondance et la vicariance des processus, qui rendent compte de la variabilité intra et de la variabilité inter des stratégies cognitives.

L'influence de la théorie de l'évolution sur le modèle de la vicariance est plus directe et plus explicite dans les prolongements qui en ont été proposés par Ohlmann (1995). Ohlmann exploite deux analogies qui lui sont suggérées par la comparaison des mécanismes de sélection en jeu, au niveau de l'espèce et au niveau du fonctionnement cognitif. La première établit un parallèle entre les deux générateurs de diversité que sont les gènes au niveau de l'espèce et les processus vicariants au niveau de la cognition. De même que les variations entre les individus d'une espèce sont engendrées par des recombinaisons de gènes codant les différentes variantes d'un même caractère, les variations intra de la conduite seraient engendrées par des recombinaisons de processus remplissant de façon différente une même fonction. En exploitant cette analogie, Ohlmann propose de transposer, des gènes aux processus, les notions de forme allèle et de dominance et de distinguer ainsi le « phénostyle » du « génostyle » cognitif. La seconde analogie est celle qu'il établit entre l'explication de la redondance entre

les processus vicariants et l'explication de la redondance entre les variantes d'un même caractère dans la théorie neutraliste de l'évolution (Kimura, 1980). Cette théorie met l'accent sur la sélection négative, c'est à dire sur une forme de sélection qui élimine les mutations non viables mais est aveugle aux mutations qui sont neutres du point de vue de l'adaptation. Si les caractères neutres ne sont pas triés, ils peuvent être quelconques, et donc extrêmement divers. Toutefois, la redondance des différentes variantes de caractères neutres, inutile dans un environnement donné, peut offrir des ressources adaptatives nouvelles en cas de changement d'environnement, ou lorsque plusieurs niches écologiques sont disponibles. Il en irait ainsi des processus vicariants qui peuvent être neutres par equi-efficacité dans des conditions que T. Ohlmann appelle « clémentes », mais ne plus l'être dans des conditions extrêmes. L'un des processus vicariants peut alors devenir le seul efficace. Cette analogie conduit Ohlmann à faire l'hypothèse que la variabilité des stratégies cognitives est elle-même variable et peut augmenter en fonction du degré de « clémence » de la situation.

### *Le modèle de choix de stratégies de Siegler*

Alors que le modèle de la vicariance de Reuchlin est issu de la psychologie différentielle, le modèle de choix de stratégies de Siegler provient de la psychologie développementale. La référence à la théorie de l'évolution est ici tout à fait explicite: « l'argument central de ce chapitre est que les concepts qui ont aidé les biologistes à comprendre l'évolution des espèces peuvent aussi aider les psychologues du développement cognitif à comprendre le développement de la pensée de l'enfant » (Siegler, 1996, p. 20)

Siegler se démarque des modèles développementaux dits « en escalier », et propose de leur substituer un modèle de développement en vagues qui se recouvrent (« overlapping waves »). Ces deux conceptions différentes du développement peuvent être illustrées à propos des stratégies de résolution de petits problèmes d'arithmétique à un seul chiffre comme  $3 + 5$  par les enfants de l'école primaire, un des aspects du développement étudiés par Siegler. Les psychologues du développement ont observé plusieurs stratégies chez les enfants qui tentent de résoudre ces problèmes d'addition. La stratégie « somme », par exemple, consiste, pour résoudre le problème  $3 + 5$ , à représenter 3 avec trois doigts d'une main, à représenter 5 avec les 5 doigts de l'autre main, puis à compter cet ensemble de doigts du premier au huitième. La stratégie « minimum » consiste à mettre le plus petit addendum en dernier et donc à transformer le problème  $3 + 5$  en  $5 + 3$ , ceci permet de partir de 5, de représenter 3 avec trois doigts et de compter 6-7-8. La stratégie de récupération consiste à retrouver directement en mémoire le résultat associé au problème  $3 + 5 : 8$ .

Siegler attribue à Ashcraft (1987) un modèle de développement de la résolution de ces problèmes d'arithmétique correspondant à la métaphore de l'escalier. Les trois stratégies « somme », « minimum » et « récupération » sont considérées par Ashcraft comme trois stades développementalement ordonnés, la première caractérisant les enfants de 4-5 ans, la seconde les enfants de 5-8 ans, et la troisième ceux de 9 ans et plus. Chaque stratégie est censée se substituer à la stratégie précédente, moins évoluée. A une période donnée de son développement arithmétique, un enfant est supposé n'employer qu'une stratégie. Ce modèle de développement en escalier est celui qui correspond à la notion de

stade, telle qu'elle a été popularisée par les modèles piagétien et néo-piagétien du développement cognitif.

A ce modèle de l'escalier, Siegler oppose donc le modèle en vagues qui se recouvrent. Il montre d'abord que le nombre des stratégies différentes est plus élevé qu'on ne l'avait cru et dénombre par exemple 7 stratégies différentes dans la résolution des problèmes d'addition à un chiffre. Ces différentes stratégies apparaissent à des moments différents du développement et chacune voit sa fréquence d'utilisation croître lentement, atteindre un maximum, puis décroître. Mais chaque nouvelle stratégie apparaît bien avant que les stratégies précédentes aient disparu ou aient même atteint leur maximum. Si la courbe de fréquence d'utilisation de chaque stratégie en fonction de l'âge est comparée à une vague, il existe de larges recouvrements entre les vagues correspondant aux fréquences d'utilisation des différentes stratégies. Il en résulte qu'à tout moment du développement, plusieurs stratégies susceptibles de résoudre un même problème coexistent avec des probabilités d'utilisation différentes. Siegler montre qu'à âge constant et problème constant, il existe une forte variabilité inter de ces stratégies (voir par ex. Siegler et Campbell, 1989). Il montre aussi qu'à individu constant, il existe une forte variabilité intra des stratégies en fonction du problème (la stratégie « minimum », par exemple, est d'autant plus fréquemment utilisée que l'écart entre les deux addenda est plus grand), mais aussi l'existence d'une forte variabilité intra à problème constant, lorsqu'un même item est donné plusieurs fois (voir par ex. Siegler & Jenkins, 1989).

S'il y a compétition entre plusieurs stratégies, il faut rendre compte du processus par lequel s'opère le choix d'une des stratégies par un sujet donné dans une situation donnée. C'est l'objectif du modèle ASCM (adaptive strategy choice model) que Siegler a cherché à valider par des études empiriques et des simulations. Dans ce modèle, comme dans le modèle de la vicariance, le principal mécanisme de variation est assuré par la pluralité des stratégies susceptibles de résoudre un même problème. Ce modèle est lui aussi probabiliste et inclut donc une autre source de variation, de nature stochastique celle-là. Le mécanisme de sélection repose sur les forces d'association entre les stratégies et les problèmes ou les classes de problèmes : la stratégie qui a le plus de chances d'être sélectionnée est celle qui a la force d'association la plus grande avec la classe de problèmes à laquelle appartient le problème à résoudre. Le mécanisme de stabilisation est le mécanisme responsable de l'évolution des forces d'association : à chaque stratégie est associée dans une base de données, sa vitesse de résolution et sa fréquence de réussite pour chaque type de problème rencontré ; la comparaison de ces caractéristiques avec celles des autres stratégies pour le même type de problème détermine la force d'association de chacune avec ce type de problème. Ce mécanisme augmente donc les chances de reproduction des stratégies qui ont été les plus efficaces dans le passé.

### *L'ancrage fonctionnaliste de ces modèles*

Au-delà des différences entre les termes employés dans ces deux modèles (processus vicariants ou choix de stratégies, hiérarchie d'évocabilité ou force d'association) leur similarité est frappante. Cette similarité s'étend à d'autres modèles du fonctionnement cognitif, par exemple au modèle de compétition de MacWhinney et Bates (1989) dans le domaine de la psycholinguistique ou au

modèle SOC (selection, optimisation and compensation) de Baltes et ses collègues dans le domaine du vieillissement (Marsiske, Lang, Baltes, et Baltes, 1995). La similarité de ces modèles ne s'explique pas par l'influence de tel ou tel d'entre eux sur les autres mais par leur communauté d'inspiration. Tous s'inscrivent dans la tradition fonctionnaliste et plus précisément, au sein de cette tradition très générale, dans une approche sélectionniste.

Le fonctionnalisme cherche l'explication des comportements et de leur organisation dans leur utilité adaptative, leur finalité. Dans cette approche, l'invariant est la fonction adaptative. Les moyens utilisés pour remplir cette fonction adaptative peuvent varier. Un même problème, 3 + 5 par exemple, peut être résolu par plusieurs stratégies différentes.

Depuis ses origines, l'approche fonctionnaliste transpose en psychologie certains des concepts de la théorie de l'évolution et elle a souvent mis l'accent sur une forme d'adaptation non déterministe dans laquelle l'organisme, ne disposant pas de solution *a priori* aux problèmes qu'il rencontre, multiplie les réponses possibles -dans les limites de son répertoire, bien entendu- en laissant le soin à l'environnement de sélectionner *a posteriori* celles -au pluriel- qui marchent. Ce principe a d'abord été formulé par Thorndike (1905)<sup>2</sup>, sous le nom de « loi de l'effet » (c'est l'effet d'un comportement, son succès, donc un événement postérieur à la production de ce comportement, qui le sélectionne). Il a été reformulé plus tard par Skinner à propos du conditionnement opérant. Skinner en a par ailleurs élargi le domaine d'application à d'autres niveaux que celui du comportement, pour en faire une sorte de principe général de fonctionnement du vivant, dans un article dont le titre (« Selection by consequences ») et le contenu font bien ressortir la relation étroite qu'il établissait entre son approche du comportement et la théorie de l'évolution (Skinner, 1981).

Les deux modèles du fonctionnement cognitif présentés plus haut, le modèle de la vicariance et le modèle de choix de processus, se sont plus ou moins directement inspirés de ces aspects du behaviorisme et plus généralement du courant fonctionnaliste dans lequel s'est inscrit le behaviorisme. Reuchlin s'est inspiré de la notion de hiérarchie d'habitudes de Maltzman (1955) pour formuler celle de hiérarchie d'évocabilité des processus (voir Reuchlin, 2001) et Siegler a été influencé par la notion de sélection par les conséquences défendue par Skinner pour formuler le mécanisme d'évolution des forces d'association entre les stratégies et les problèmes en fonction de l'expérience (voir Siegler, 1984).

Par rapport à ces sources d'inspiration behavioristes, les modèles fonctionnalistes cognitivistes introduisent deux changements essentiels. Le premier consiste à faire porter les mécanismes de variation et de sélection sur les processus ou stratégies, alors que les modèles behavioristes les faisaient porter sur les réponses. C'est essentiel car une même réponse, par ex. la réponse 8 au problème 3 + 5 peut être obtenue par au moins 7 stratégies différentes, ce qui multiplie d'autant les sources de variation. Le second est l'introduction de sources individuelles de variation qui ne se résument pas à de simples effets de

---

<sup>2</sup> Thorndike était un disciple de William James, qui peut être considéré comme le fondateur du fonctionnalisme américain. En dehors de l'influence intellectuelle que William James a exercée sur Thorndike, il a donné une impulsion décisive à son orientation vers la psychologie animale en lui prêtant sa cave personnelle pour y élever les deux poulets sur lesquels Thorndike a commencé ses expérimentations...

différences d'environnement. La hiérarchie d'habitudes de Maltzman modélisait les variations du comportement en fonction des situations dans lesquelles se trouvait le sujet, mais pas les variations du comportement entre les sujets à situation constante. Dans la hiérarchie d'évocabilité telle qu'elle est définie par Reuchlin, la probabilité d'évocation de chaque processus est définie par le produit de sa probabilité d'évocation par la situation et de sa probabilité d'évocation par cet individu.

Si les deux modèles présentés sont si proches, c'est parce qu'ils s'inscrivent dans un même courant de pensée, qui actualise dans le cadre de la psychologie cognitive, au niveau des processus mentaux donc, la tradition fonctionnaliste qui a auparavant influencé le behaviorisme. En s'inscrivant dans cette tradition, ces modèles confèrent à la variabilité un statut épistémologique comparable à celui que lui conférait Darwin dans la théorie de l'évolution. Ils font de la variabilité une caractéristique intrinsèque au fonctionnement adaptatif du vivant, dont la cognition fait partie. Le point important pour la suite du propos est qu'ils accordent ce statut fondamental aussi bien à la variabilité intra qu'à la variabilité inter, puisque l'une et l'autre procèdent des mêmes mécanismes généraux de fonctionnement.

### **L'approche des systèmes dynamiques non linéaires**

Le courant de pensée fonctionnaliste, qui vient d'être évoqué, prend sa source dans la théorie de l'évolution et donc du côté de la biologie. L'approche des systèmes dynamiques non linéaires, dont il va être question maintenant, prend plutôt sa source du côté de modèles de l'auto-organisation qui ont d'abord été développés en physique et en mathématique. Ces modèles ont aussi beaucoup contribué à changer le statut épistémologique qui avait été assigné au hasard et à la variabilité dans la physique classique : « Nous nous retrouvons dans un monde irréductiblement aléatoire, dans un monde où la réversibilité et le déterminisme font partie de cas particuliers, où l'irréversibilité et l'indétermination microscopique sont la règle » (Prigogine et Stengers, 1986, p. 19).

La réaction de Belousov-Zhabotinskii est un des exemples utilisés par Prigogine et Stengers pour illustrer les propriétés des systèmes dynamiques non linéaires. Cette expérience consiste à chauffer progressivement un acide organique (par exemple acide malonique) dans laquelle un bromate de potassium a été dissous, en présence d'un catalyseur approprié (par exemple ferroïne). L'augmentation de la température provoque à partir d'un certain moment une agitation désordonnée des ions de bromate puis, lorsqu'une certaine zone de température est atteinte, on observe une réorganisation soudaine, hors de proportion avec la petite augmentation de température qui l'a déclenchée. Les ions de bromate adoptent alors un comportement collectif et décrivent des spirales qui s'étendent rapidement à l'ensemble de la solution. Le système se stabilise dans cet « attracteur » et la variable collective, ici la trajectoire en spirale, peut alors être décrite avec un nombre de dimensions très réduit eu égard à la complexité des interactions qui sous-tendent ce comportement collectif du système.

La modélisation de phénomènes d'auto-organisation tels que celui-ci a intéressé les psychologues, en particulier ceux qui cherchaient à modéliser le développement cognitif. La raison la plus évidente en est que ce type de modélisation intègre la flèche du temps. Dans un système d'équations

dynamiques comme celui qui permet de simuler la réaction décrite plus haut, l'état de chaque élément du système au moment  $t$  est toujours fonction de son état au moment  $t-1$ . Par ailleurs, l'état de chaque élément du système au moment  $t$  est aussi défini en fonction de l'état de tous les autres éléments du système au moment  $t-1$ . Cette forme d'interaction entre les éléments en jeu fait que toute variation de l'un entraîne la variation de chacun des autres qui à leur tour...etc.. Cette causalité mutuelle dans les variations des éléments en présence fait qu'ils forment un système et entraîne une évolution auto-organisée de ce système. Le caractère non linéaire de cette évolution a en outre paru intéressant pour concilier les aspects continus et les aspects discontinus (stades) du développement (tout comme, dans la réaction chimique prise comme exemple, une variation continue du paramètre de contrôle, la température, provoque une évolution discontinue dans la structuration des éléments en présence).

Dans la mesure où la variabilité initiale du système joue un rôle fondamental dans cette dynamique – l'ordre émerge à partir du bruit – les modèles du développement qui s'inspirent des systèmes dynamiques accordent eux aussi un statut fondamental à la variabilité. Ceci peut être illustré par un exemple emprunté à Esther Thelen, qui a très tôt appliqué l'approche des systèmes dynamiques à l'étude du développement psycho-moteur et plus généralement du développement cognitif (voir Thelen et Smith, 1994). Le réflexe de marche du nouveau-né a beaucoup intrigué les psychologues développementalistes. Présent à la naissance, il disparaît vers 2 mois et réapparaît aux alentours de 8 mois. Thelen a montré que ce comportement, c'est à dire l'alternance synchronisée des mouvements des deux jambes, pouvait pourtant être activé chez les bébés entre 2 et 8 mois dans certaines circonstances. Elle a par exemple provoqué ce réflexe vers 3 mois, à un moment où il a en principe disparu, en plaçant le bébé debout dans l'eau, ce qui a pour effet de diminuer le poids qui porte sur les jambes (Thelen et coll., 1984). Elle a aussi provoqué le mouvement de marche vers 7 mois en plaçant le bébé sur un tapis roulant qui entraîne les jambes en arrière et accentue ainsi l'extension des muscles des jambes. Lorsque la vitesse du tapis est augmentée progressivement, des mouvements désordonnés de flexion et d'extension des jambes apparaissent et, à un moment donné, une augmentation minime de la vitesse provoque une réorganisation des mouvements qui se stabilisent alors dans le pattern d'alternance régulier des deux jambes (Thelen, 1986).

Dans cette approche, le comportement de marche est conçu comme un des attracteurs vers lesquels peut converger le système psychomoteur. La variable collective est le comportement d'alternance des flexions et extensions des jambes. Les éléments de ce système dynamique sont les patterns d'activation des différents muscles impliqués, le degré d'élasticité de ces muscles, la position des segments du corps, les paramètres corporels comme le poids, le contexte environnemental. On remarquera que ce système dynamique intègre des éléments cognitifs (patterns d'activation) et non cognitifs (par ex. l'élasticité des muscles), des éléments internes au sujet et d'autres qui relèvent du contexte dans lequel il agit.

Comme tous ceux qui adoptent l'approche des systèmes dynamiques pour modéliser le développement cognitif, Thelen considère la variabilité comme une caractéristique intrinsèque au fonctionnement du système. Ceci vaut pour la

variabilité intra, comme le montre l'exemple du comportement d'alternance des jambes. Il a le statut d'une variable collective, résultant de l'assemblage souple d'un grand nombre de composantes, et il peut donc apparaître ou disparaître chez un même individu selon que le poids de celui-ci augmente ou diminue, ou selon que l'extension des jambes est plus ou moins sollicitée. Ceci vaut aussi pour la variabilité inter. Thelen (1990) rapporte le cas d'un bébé qui, dans le développement de la locomotion, n'est jamais passé par le « stade » de la marche à 4 pattes. Il vivait dans un appartement où les sols étaient cirés et très glissants. Dès qu'il a pu s'asseoir il a rapidement pris l'habitude de se déplacer par des glissements effectués en position assise en se poussant par un mouvement simultané de ses deux jambes. Cet exemple illustre bien le fait que le système dynamique dont il est question intègre indissociablement le sujet et le contexte avec lequel celui-ci interagit.

Curieusement, l'approche des systèmes dynamiques semble rendre plus facilement compte de la variabilité intra que des différences individuelles. Ces dernières sont généralement attribuées à la composante stochastique du modèle ou à des différences d'environnement, comme c'est le cas dans l'exemple ci-dessus. Cela ne suffit pas pour rendre compte du type de différences stables entre les individus auxquelles s'intéresse la psychologie différentielle. La modélisation de différences individuelles stables qui ne soient pas de simples conséquences des différences d'environnement est cependant possible dans le cadre de cette approche en s'appuyant sur la notion de contraintes en cascade (Lewis, 1997). La dépendance de chaque état par rapport à l'état précédent réduit en effet les degrés de liberté du système au fur et à mesure que celui-ci évolue. Les raisons pour lesquelles un système bifurque à un moment  $t$  vers l'un ou l'autre de deux attracteurs possibles, mettons  $A1$  ou  $A2$ , peuvent être dues à une influence de l'environnement, à un effet du patrimoine génétique, ou être purement stochastiques, mais quelles que soient les raisons pour lesquelles le système a bifurqué vers  $A1$  ou vers  $A2$ , l'état suivant est contraint par le fait que l'état précédent ait été  $A1$  ou  $A2$  et il va à son tour contraindre de la même manière les étapes suivantes. Ces contraintes en cascade sont des facteurs épigénétiques qui canalisent progressivement les évolutions possibles du système tout en n'étant ni de nature environnementale, ni de nature génétique. En d'autres termes, même si la forme de la trajectoire d'un système dans l'espace des états est relativement indéterminée au départ, elle devient de plus en plus déterminée par les états déjà parcourus (mais garde néanmoins toujours une certaine marge d'imprévisibilité). Dans un système dynamique, la dépendance conditionnelle entre les états successifs peut donc rendre compte de différences individuelles stables dont l'origine peut n'être ni environnementale ni génétique. Même dans le cas où des bifurcations sont déclenchées par des facteurs environnementaux ou génétiques, les conséquences ultérieures de ces bifurcations peuvent ne relever que des contraintes en cascade engendrées par la bifurcation initiale, ce qui complique beaucoup l'appréciation de l'influence strictement génétique dans les différences observées et rend de toute façon caduques les méthodes classiques de calcul de l'héritabilité (voir sur ce point Molenaar, Boosna et Dolan, 1993 ; Molenaar et Raijmakers, 1999 ; Thelen, 1990).

Comme c'était le cas plus haut à propos de l'approche fonctionnaliste, bien d'autres exemples d'application de l'approche des systèmes dynamiques non

linéaires à la psychologie cognitive pourraient être développés pour en faire ressortir les similarités. Cette approche a par exemple été appliquée à la modélisation du développement de la conservation (van der Maas & Molenaar, 1992), du développement cognitif (van Geert, 1998), de l'erreur A-non-B (Smith et al., 1999), de la compréhension des mots (Gogate et al., 2001). L'intérêt de l'approche des systèmes dynamiques en psychologie a aussi été discuté par Juhel (1997, à paraître). Dans tous ces exemples, la variation, sous toutes ses formes, est considérée comme un facteur intrinsèque au fonctionnement et au développement du système.

## **Le contexte scientifique du changement de statut de la variabilité**

A quoi tient cette évolution récente des idées sur le statut de la variabilité dans la cognition? Sans doute au fait que les modèles de la psychologie cognitive ont progressivement changé. Longtemps ce sont des modèles inspirés du cadre conceptuel de l'informatique, en particulier de la notion de programme, qui ont dominé. Les modèles de traitement de l'information étaient alors des modèles déterministes dans lesquels des instructions spécifiaient *a priori* les processus devant être activés dans chacune des circonstances rencontrées. Ces modélisations pouvaient rendre compte des différences dans la vitesse ou la précision du traitement, mais plus difficilement des variations dans le choix des processus activés, sauf à faire appel à des étages métacognitifs. Elles semblent céder progressivement le pas à des modèles inspirés plutôt de processus d'auto-organisation, moins déterministes, dans lesquels la régulation du comportement se fait *a posteriori* plutôt qu'*a priori*. Dans ces modèles, qu'il s'agisse de ceux qui s'inspirent du cadre conceptuel de la théorie de l'évolution ou de ceux qui s'inspirent des systèmes dynamiques non linéaires, la variabilité joue un rôle central dans la structuration du système dans la mesure où c'est elle qui donne prise à la régulation adaptative du comportement *a posteriori*. Cette évolution des idées sur le statut de la variabilité ne semble d'ailleurs pas concerner que la psychologie cognitive mais toutes les sciences cognitives (voir Lautrey, Mazoyer, & van Geert, 2002).

L'évolution théorique qui vient d'être décrite est un contexte scientifique propice aux psychologues qui cherchent à inscrire l'étude des différences individuelles dans la recherche fondamentale. L'évolution des modèles du fonctionnement cognitif crée des conditions plus favorables à cette intégration que ce n'était le cas par le passé. Mais - et c'est ce *mais* qui m'intéresse ici - ces approches accordent un statut tout aussi fondamental à la variabilité intra qu'à la variabilité interindividuelle dans le fonctionnement et le développement cognitifs. Sera-t-il longtemps possible, pour la psychologie différentielle, de maintenir dans ses méthodes la dissymétrie qu'elle a installée au départ entre ces deux formes de variabilité? Autrement dit, l'évolution qui permet l'intégration de l'approche différentielle dans la recherche fondamentale met en même temps en question certains des postulats sur lesquels repose sa méthodologie.

## **Implications du changement de statut de la variabilité intra pour les méthodes de la psychologie différentielle**

### **Implications pour l'analyse factorielle**

Dans le cadre de l'approche différentielle, une des méthodes privilégiées pour étudier la structure de la variabilité est l'analyse factorielle. Différents plans d'analyse sont envisageables selon la forme de variabilité dont on souhaite analyser la structure. Cattell (1952) a répertorié ces plans d'analyse en représentant les données dans une « data-box » qui se présente comme un cube dont les trois arêtes correspondent aux trois dimensions usuelles: les personnes (P1 à Pn), les variables (V1 à Vn) sur lesquelles les comportements de ces personnes sont mesurés et les différentes occasions (O1 à On) auxquelles ces mesures sont effectuées.

La structure factorielle des relations entre les variables peut être analysée soit en s'appuyant la variabilité inter soit en s'appuyant sur la variabilité intra. Dans le premier cas, il s'agit de ce que Cattell a appelé l'analyse en plan R: à une occasion donnée, appelons la O1, la structure des relations entre les n variables est analysée à partir de la matrice de leurs intercorrélations *dans l'espace des n sujets* qui ont été mesurés sur ces variables. Dans le second cas, il s'agit de ce que Cattell a appelé l'analyse en plan P: Pour un sujet donné, appelons le S1, la structure des relations entre les n variables est analysée cette fois-ci à partir de la matrice de leurs intercorrélations *dans l'espace des n occasions* auxquelles ce sujet a été mesuré. Les analyses en plan P sont en principe les plus adaptées à l'approche développementale mais leur coût et les problèmes que pose leur réalisation font que la pratique courante en matière d'études longitudinales est de répéter une analyse en plan R sur plusieurs occasions (en général pas très nombreuses).

Il s'agit bien dans les deux cas (analyse en plan P et analyse en plan R répété), de dégager l'évolution de la structure des relations entre les n variables au cours du temps, mais la source de variabilité sur laquelle on s'appuie n'est pas la même. Dans le cas de l'analyse longitudinale en plan R répété, la structure des relations entre les n variables est dégagée en s'appuyant sur la variabilité inter et sur une analyse de son évolution entre les occasions. Dans l'analyse en plan P, la structure des relations entre les variables est dégagée en s'appuyant cette fois-ci directement sur la variabilité intra et l'unité d'analyse est l'individu. Quelle relation peut-on attendre entre les structures factorielles issues de ces deux approches de l'évolution développementale? Pour formuler la question de façon plus concrète, quelle relation peut-on attendre entre la structure factorielle obtenue en faisant passer n tests à un échantillon de 100 sujets (plan R) et celle qui serait obtenue en faisant passer ces n tests 100 fois à un même sujet (plan P)? Et pour revenir maintenant à l'étude du développement, quelle relation peut-on attendre entre la structure obtenue en faisant passer n tests à un échantillon de 100 sujets à plusieurs occasions (plan R répété sur les occasions) et celle obtenue en faisant passer ces n tests 100 fois à plusieurs individus (plan P répété sur les sujets) ?

Cette question a été soulevée notamment par Molenaar, qui a critiqué à de nombreuses reprises l'approche consistant à s'appuyer sur l'analyse des variations inter pour comprendre la structure et les causes des variations intra. Précisons qu'il s'agit dans ce cas de variations intra de nature développementale. Sa critique s'appuie sur la théorie de l'ergodicité. Dans le domaine de la mécanique des fluides et de la thermodynamique, d'où provient ce concept, le postulat d'ergodicité est satisfait lorsque la structure de la variabilité entre les éléments au temps  $t$  est la même que celle de la variabilité entre les moments

pour un même élément. La dynamique d'un ensemble de trajectoires de molécules de gaz, par exemple, est dite ergodique si les statistiques que l'on peut calculer en suivant la trajectoire d'une seule molécule, par exemple sa vitesse moyenne, sa variance, etc. sont les mêmes que celles pouvant être calculées sur l'ensemble des molécules à un instant  $t$ . Un système ergodique est donc un système qui est dans un état d'équilibre tel que les caractéristiques moyennes de tout élément sur un ensemble d'occasions de mesure sont les mêmes que les caractéristiques moyennes de la population pour une occasion de mesure quelconque. En bref, dans de tels systèmes, l'analyse de la structure de la variabilité entre les individus à un instant  $t$  renseigne effectivement sur la structure de la variabilité intra-individuelle au cours du temps.

Pour que le postulat d'ergodicité s'applique à un système, ses caractéristiques statistiques (moyenne, variance, etc.) ne doivent pas varier au cours du temps. Dans ces conditions, mais dans ces conditions seulement, l'analyse des variations inter donne une information appropriée sur les variations intra. Or, selon Molenaar, les systèmes développementaux ne satisfont pas aux conditions des systèmes ergodiques. Ils se caractérisent précisément par le fait que leurs moyennes, variances et covariances, ne restent pas invariantes au cours du temps. En conséquence, la structure de leur variabilité inter ne peut renseigner sur la structure de leur variabilité intra.

Molenaar et ses collègues ont adressé cette critique aux méthodes de calcul de l'héritabilité (Molenaar, Boosna et Dolan, 1993 ; Molenaar et Raijmakers, 1999) et aux études longitudinales en plan R répété (Molenaar, 1994 ; Molenaar, Huizenga et Nesselroade, sous presse). Dans les deux cas, ils ont cherché à valider leur point de vue en s'appuyant sur des simulations. Une des méthodes de simulation destinées à comparer les structures factorielles obtenues en plan P et en plan R est rapportée ci-dessous à titre d'exemple.

Dans cette approche (Molenaar, 1994, 2002, Molenaar, Huizenga et Nesselroade, sous presse), le développement de sujets fictifs était simulé par un système d'équations dynamiques spécifiant pour chacun un niveau de départ et un paramètre de croissance sur un ensemble de variables. L'échantillon comportait 400 sujets fictifs, chacun d'entre eux étant représenté par un vecteur  $y_i$  caractérisant ses scores dans un espace à 9 variables. Cet échantillon de 400 sujets fictifs était partagé en 4 groupes de 100, qui étaient engendrés de telle sorte que dans une analyse en plan P, la structure de leur variabilité intra obéisse à des modèles factoriels différents : modèle à 1 facteur pour les 100 premiers, à 2 facteurs pour les 100 suivants, 3 facteurs pour 100 autres, et enfin 4 facteurs pour les cent derniers. Les 100 individus qui relevaient d'une même structure factorielle en plan P avaient par ailleurs un pattern de saturations variable des 9 épreuves dans les facteurs et des variances erreur différentes. La structure de la variabilité intra était donc ici parfaitement connue pour chacun des « sujets ». Une fois simulée la trajectoire développementale de chacun de ces 400 sujets, on avait, pour chaque occasion de mesure (c'est à dire pour chacune des itérations des systèmes dynamiques simulant leur développement), un échantillon de 400 vecteurs correspondant aux scores des 400 sujets fictifs sur les 9 variables à un moment  $T$ . Une analyse factorielle en plan R était ensuite effectuée sur ces scores, c'est à dire sur la variabilité interindividuelle. La matrice de corrélations obtenue pour une de ces analyses en plan R figure dans le tableau 1 (cette

simulation a été répliquée 10 fois et a donné des résultats comparables à chaque fois)

Tableau 1. Matrice de corrélations calculée sur un échantillon de N = 400 individus, dans lequel les scores de chaque individu obéissent à un modèle factoriel différent (Tableau tiré de Molenaar, 2002).

1									
.26	1								
.18	.26	1							
.17	.29	.32	1						
.23	.31	.30	.41	1					
.20	.35	.31	.36	.43	1				
.10	.33	.28	.38	.47	.43	1			
.19	.36	.29	.42	.48	.45	.38	1		
.15	.28	.36	.41	.44	.42	.42	.42	1	

Comme l'allure de la matrice le laisse supposer, l'analyse factorielle en plan R n'a permis d'extraire qu'un facteur général de variation des scores. La structure factorielle de la variabilité inter n'a donc ici aucun rapport avec la structure factorielle de la variabilité intra qui avait été introduite dans la construction des données.

Le problème illustré par ce résultat a des implications pour l'utilisation de l'analyse factorielle en psychologie du développement, mais aussi, à mon avis, pour son utilisation en psychologie différentielle. Du point de vue de l'étude du développement, qui est la cadre dans lequel se situe Molenaar, les variations intra sont l'objet d'étude principal, ce sont des variations développementales qui surviennent sur des durées temporelles longues. Sur le fond, l'approche des systèmes dynamiques suggère que le changement développemental obéit à une dynamique dont l'organisation ne peut être comprise que par l'analyse des variations du comportement d'un individu au cours du temps. La structure issue de l'analyse des variations inter n'ayant pas de lien nécessaire avec cette organisation, l'analyse doit être effectuée, du moins dans une première phase, au niveau individuel. Ceci n'exclut pas l'analyse différentielle, loin de là, mais suggère que celle-ci ne peut avoir lieu que dans un second temps, par la comparaison des structures individuelles tirées de l'analyse des variabilités intra. Il s'agit alors de savoir si la dynamique développementale a la même forme chez tous les sujets. C'est seulement à cette étape là que l'on peut décider s'il est acceptable d'intégrer tous les individus dans une même analyse factorielle des données longitudinales. Dans le cas de la simulation qui vient d'être présentée, cette approche conduirait à effectuer et à comparer quatre analyses différentes, chacune regroupant les sujets présentant la même structure (à 1, 2, 3, ou 4 facteurs) dans l'analyse en plan P. Compte tenu de la lourdeur des analyses en plan P dans les études empiriques, toute technique permettant de tester l'homogénéité de la structure de la variabilité intra sur un petit nombre d'occasions, et de constituer des groupes de sujets

homogènes sur la base de ces tests, serait de nature à faire progresser l'approche factorielle du développement.

Le problème se pose de façon assez différente pour l'utilisation habituelle de l'analyse factorielle en psychologie différentielle. Dans ce cas, la variabilité intra n'est pas, comme en psychologie développementale, l'objet d'étude principal. Elle est même le plus souvent assimilée à l'erreur de mesure. En principe, seule l'analyse en plan R a ici du sens par rapport à l'objet d'étude. La structure des relations entre les variables est généralement analysée sur un échantillon d'individus observés à une occasion unique. La conséquence en est que la structure factorielle ainsi dégagée caractérise l'échantillon mais peut ne caractériser aucun des individus. Pourtant, la structure factorielle issue de ce type d'analyse, par exemple la structure factorielle de l'intelligence, est implicitement considérée comme une structure générale qui caractérise l'organisation de l'intelligence de tout individu. Est-ce légitime ?

L'exemple de l'analyse en plan R effectuée dans la simulation présentée plus haut suggère que non. Il souligne un paradoxe intéressant dans l'utilisation qui est faite de l'analyse factorielle en plan R en psychologie différentielle. Il s'agit bien d'une méthode différentielle, puisque l'analyse des relations entre les variables s'appuie sur les différences observées entre les sujets, mais le glissement qui a lieu dans l'interprétation des résultats revient à nier ensuite les différences puisque la structure issue de l'analyse est supposée valoir pour tout sujet (on admet certes que les sujets diffèrent par les notes dans chacun des facteurs, mais on postule qu'ils sont tous caractérisés par le même nombre de facteurs et qui plus est par les mêmes facteurs).

Comment savoir si cette structure, qui est en fait la structure statistique des variations dans l'échantillon, vaut aussi pour chaque sujet ? L'analyse de la variabilité intraindividuelle, qui correspond ici aux fluctuations du comportement entre des occasions de mesure rapprochées (de type test-retest), ne peut pas apporter de réponse satisfaisante. De deux choses l'une en effet, ou bien le postulat assimilant la variabilité intra à l'erreur de mesure est fondé, et les analyses en plan P ne pourront dégager aucune structure factorielle individuelle susceptible de lever l'incertitude sur la congruence entre la structure caractérisant l'échantillon et la structure caractérisant l'individu, ou bien on admet que les effets d'apprentissage, de fatigue, de dépendance conditionnelle entre les occasions de mesure, introduisent une dynamique de changement du comportement entre les occasions de mesure, et on se trouve ramené au problème de la non ergodicité des systèmes développementaux. L'étude de la structure de cette forme de variabilité intra (de type test-retest) peut être très intéressante, elle correspond dans cette hypothèse à la structure individuelle de la microgenèse, mais du fait de la non ergodicité des systèmes développementaux, elle ne peut renseigner valablement sur la structure de la variabilité inter qui est ici l'objet d'étude.

L'incertitude ne paraît donc pas pouvoir être levée, ici, par les méthodes d'analyse factorielle : les structures tirées de l'analyse en plan R renseignent sur la structure des variations dans l'échantillon, mais on ne peut pas savoir si cette structure caractérise tous les sujets de l'échantillon, ou une partie seulement, ou même

aucun<sup>3</sup>. Ce problème ne s'applique pas seulement à l'analyse factorielle, mais à tous les modèles structuraux en plan R. Les coefficients de piste calculés dans ces modèles définissent une structure moyenne des relations entre les variables qui peut ne caractériser aucun individu (mais voir Reuchlin, 1999, p. 174 pour une suggestion sur la manière de dépasser cette limitation). Ce ne sont pas les méthodes en elles-mêmes qui sont ici en cause, mais bien le glissement qui a lieu lors de l'interprétation, lorsqu'une structure qui caractérise un échantillon est attribuée à chacun des individus de cet échantillon

## Implications pour la notion de score vrai

La notion de score vrai offre un second exemple de notion statistique classiquement utilisée en psychologie différentielle et dont les postulats sont mis en cause par l'approche des systèmes dynamiques. Dans la théorie classique de la mesure, on postule que le score observé  $x_i$  d'un individu  $i$  dans un test  $x$  peut être décomposé en deux parties, le score vrai  $x_v$  d'une part, et l'erreur de mesure  $e$  d'autre part. La part de variance due à l'erreur de mesure est estimée – au niveau de l'échantillon – par l'une ou l'autre des méthodes d'évaluation de la fidélité de la mesure, par exemple la corrélation test-retest  $r_{xx}$ . A partir de là, l'écart-type de l'erreur de mesure, l'erreur standard de mesure  $e$ , qui affecte le score d'un individu  $i$  est estimée en pondérant l'écart-type de la distribution des scores  $x$  dans le groupe par le coefficient de fidélité :  $\sigma_e = \sigma_x [1-r_{xx}]^{1/2}$ . On remarquera que cette erreur de mesure est estimée au niveau du groupe et ensuite postulée identique pour tous les individus. Soulignons, comme cela a déjà été fait à propos de l'analyse factorielle, le paradoxe tenant à ce que dans certains des postulats qui fondent ses méthodes statistiques, l'approche différentielle postule tous les individus identiques.

Quant au score vrai de chaque individu  $i$ , c'est un inconnaisable. Il est classiquement défini comme étant la moyenne de la distribution des scores qui pourraient être observés si la mesure était répétée un très grand nombre de fois sur cet individu. Chacun sait que cette expérience n'est pas réalisable car les phénomènes d'apprentissage, de fatigue, etc. introduiraient dans une telle expérience des variations qui n'auraient pas du tout l'allure aléatoire supposée être celle de l'erreur de mesure (ce point sera abordé dans l'exemple suivant). Dans ce raisonnement, les phénomènes de fatigue, d'apprentissage, et plus généralement de dépendance conditionnelle entre les passations successives, ont le statut de biais qui fausseraient, si on l'effectuait vraiment, l'expérience imaginaire dont le statut théorique n'est cependant pas mis en question. Or ces phénomènes sont précisément ceux qui, dans une approche inspirée des systèmes dynamiques, caractérisent le fonctionnement d'un individu et ce sont donc ceux qu'il faut étudier.

---

<sup>3</sup> En fait, lorsqu'il existe une correspondance entre les facteurs extraits dans l'espace des sujets et les facteurs extraits dans l'espace des variables (ce qui est par exemple le cas dans l'analyse des correspondances), il est possible de repérer les sujets qui contribuent peu, ou pas du tout à tel ou tel facteur ou à l'ensemble des facteurs, mais ceci ne permet pas de savoir si ces sujets devraient être caractérisés par une structure différente et si oui par laquelle. Même dans les méthodes multidimensionnelles qui permettent d'individualiser la structure trouvée sur un échantillon de sujets (par exemple INDSCAL en échelonnement multidimensionnel), l'individualisation ne porte que sur les poids attribués aux différentes dimensions dans une structure où le nombre de dimensions et la nature de ces dimensions sont postulés identiques pour tous les sujets.

Je m'appuierai, pour discuter les postulats sous-jacents à la notion de score vrai, sur les travaux que van Geert (2002, 2003) a consacrés à cette question. Le point central du litige est celui du statut donné à la variabilité intra dans la théorie du score vrai, celui de variance erreur. Dans l'approche des systèmes dynamiques que van Geert adopte pour étudier le développement, une caractéristique psychologique, l'intelligence par exemple, n'est pas un mécanisme interne au sujet, mais une caractéristique du couplage que forment le sujet, l'objet sur lequel est finalisée l'action de ce sujet (par exemple un item de test à résoudre) et le contexte dans lequel a lieu cette interaction entre sujet et objet. C'est cet ensemble qui constitue un système dynamique dont certains éléments sont des composantes internes au sujet (par exemple les processus cognitifs, les mécanismes émotionnels, les processus moteurs) et d'autres des composantes qui lui sont externes et présentent ou non des « affordances » pour son activité. La dynamique des interactions entre toutes ces composantes peut se stabiliser dans un attracteur qui correspond à un état stable du système, état stable dans lequel celui-ci a un comportement global organisé et éventuellement adapté. De tels états stables sont caractérisés par un assemblage flou de composantes, assemblage qui est formé de nouveau à chaque occasion et dont la composition peut varier en fonction du problème, du contexte, ou de l'état émotionnel du sujet. Dans le cadre de cette conception interactionniste, la variabilité intra est une caractéristique intrinsèque du système dynamique que forment le sujet et son environnement et non un effet de l'erreur de mesure (ou du moins pas seulement). Selon van Geert, il n'y a donc pas de score vrai, ou plus exactement, tous les scores sont vrais et tous doivent donc être pris en considération. Ce sont même leurs variations qui renseignent sur le fonctionnement du système.

Toutefois, tous les scores ne sont pas forcément aussi caractéristiques du sujet, ou aussi caractéristiques de la situation. On admet donc que toutes les mesures ne sont pas aussi représentatives du sujet mesuré dans un contexte donné. La base de cette représentativité peut être la fréquence (les scores les plus représentatifs sont alors les plus fréquents), mais pas nécessairement. Le degré de représentativité d'un score est une variable continue. Ces idées de van Geert sur le statut de la mesure rappellent beaucoup celles qui, dans un autre domaine, ont conduit Rosch à substituer une approche probabiliste de l'appartenance catégorielle à l'approche classique. Un score peut être un représentant plus ou moins bon d'une caractéristique psychologique d'un individu dans un contexte, tout comme chez Rosch, un exemplaire peut être un représentant plus ou moins bon de la catégorie à laquelle il appartient. De même qu'il faut prendre en compte l'ensemble des exemplaires, typiques et moins typiques d'une catégorie pour en cerner l'intension (ou compréhension), de même, il faut prendre en compte l'ensemble des scores d'un sujet dans un même test pour cerner l'« intension » de la mesure effectuée. La conséquence de cela est que la mesure ne peut être caractérisée par un score unique, considéré comme vrai, mais par une étendue. Le choix de l'étendue que l'on décidera de considérer comme caractéristique d'un sujet relève de la décision du chercheur, il peut retenir toute l'étendue des scores observés, l'étendue de la zone définie par un écart-type de part et d'autre de la moyenne, etc.

On pourra trouver un exemple d'application de ces idées dans une recherche sur le développement du langage (van Geert et van Dijk, 2002). Il s'agit d'une étude

longitudinale menée sur une petite fille, Heleen, suivie pendant un an, de 1;6 à 2;6, à raison de deux à trois séances par semaine, de une heure chacune. Les productions langagières spontanées d'Heleen étaient enregistrées à chaque séance et analysées notamment du point de vue de la longueur moyenne des énoncés et du nombre de prépositions spatiales employées. Les données consistent en 55 échantillons de production langagière répartis sur l'année avec, pour chacun, une longueur moyenne des énoncés et un nombre de prépositions spatiales. Les auteurs proposent plusieurs méthodes d'analyse de la variabilité intraindividuelle de ces caractéristiques du langage. L'une d'elles consiste à représenter graphiquement l'évolution de l'étendue des scores par ce qu'ils appellent un « min-max graph ». Un intervalle temporel est défini, ce peut être par exemple un empan de 5 séances d'observation consécutives, à l'intérieur duquel sera évaluée la variabilité intra du comportement choisi, par exemple la variabilité du nombre de prépositions spatiales. Le graphe est alors réalisé en déplaçant une fenêtre mobile d'empan 5 sur la séquence des 55 observations représentées en abscisse (c'est à dire que la variation intra est évaluée dans la période 1-5, puis dans la période 2-6, puis 3-7, etc.). Pour chaque déplacement de la fenêtre, la valeur minimum et la valeur maximum sont portées sur le graphe. La répétition de cette opération pour chacune des 55 occasions de mesure figurant en abscisse aboutit à la représentation de l'étendue de la variabilité intra sous la forme d'une bande délimitée, pour sa limite supérieure, par les valeurs maximales observées dans les fenêtres successives et, pour sa limite inférieure, par les valeurs minimales observées dans ces mêmes fenêtres. Il devient alors possible, en s'appuyant sur ce graphe, d'étudier l'évolution développementale de la variabilité intra de la variable choisie, ici la production de prépositions spatiales. Ce sont dans ce cas les variations dans la largeur de la bande au cours du temps qui sont analysées. On peut aussi comparer la variabilité intra entre individus, chercher à quelles périodes la variabilité intra augmente ou diminue, etc.. Le lecteur est renvoyé pour plus ample information à l'article cité, où les auteurs proposent toute une panoplie d'outils méthodologiques pour l'analyse de la variabilité intra (van Geert et van Dijk, 2002). Signalons au passage que cet article est publié dans un numéro spécial de la *revue Infant Behavior and Development* entièrement consacré à la variabilité. C'est un autre indice de l'intérêt croissant que suscite l'étude de la variabilité en psychologie.

### **implications pour le postulat d'indépendance des items**

Même lors d'une unique passation d'un test, qui est une situation plus couramment rencontrée en psychologie différentielle, les sujets passent en général une série d'items. L'approche classique de la mesure considère ces différents items comme indépendants : la probabilité de réussite d'un item ne dépend en principe pas de la probabilité de réussite à l'item précédent. Du point de vue de l'approche dynamique, au contraire, l'état au moment  $t$  dépend de l'état au moment  $t-1$ . De ce fait, il existe une dépendance conditionnelle entre le comportement à un item et le comportement aux items précédents (qui font en l'occurrence partie du contexte dans lequel un item est résolu). Une étude de van Geert (2002) sur les phénomènes de dépendance conditionnelle entre les items servira à illustrer ce point

L'expérience a porté sur 48 enfants de 5 ans environ qui ont passé un test de théorie de l'esprit comportant 77 items (ce test a par ailleurs été administré 3 fois à une semaine d'intervalle). La variable sur laquelle les relations de dépendance conditionnelle ont été éprouvées est le nombre de commutations entre les items. Il y a commutation lorsqu'un item est échoué alors que le précédent était réussi, ou l'inverse. L'analyse des commutations peut porter sur les changements de réponse entre items successifs d'un même test (commutations intra-test) ou sur les changements de réponse entre test et retest (dans ce cas, les commutations sont définies comme les changements de réponse au même item lors du retest). Le choix du nombre de commutations comme indicateur se justifie par le fait que celles-ci devraient être plus nombreuses lorsqu'il y a indépendance conditionnelle entre les items que lorsqu'il y a dépendance. Dans ce dernier cas en effet, la réponse a plus de chances d'être la même, compte tenu de l'homogénéité des items d'un même test.

La méthode utilisée s'appuie sur la simulation. Sans entrer ici dans les aspects techniques de cette simulation, disons seulement que son principe consiste à générer des protocoles théoriques qui soient comparables aux protocoles observés dans l'échantillon quant aux scores totaux, quant à la fréquence de réussite de chaque item pour chaque score total, etc., mais qui en diffèrent par le fait qu'ils ont été générés sous une hypothèse d'indépendance conditionnelle entre les items. Le nombre de commutations observé dans les protocoles réels est ensuite comparé au nombre de commutations attendu dans les protocoles correspondants issus la simulation.

Les résultats montrent qu'aussi bien au niveau intra-test qu'au niveau inter-tests le nombre de commutations est effectivement significativement plus important dans les protocoles simulés sous contrainte d'indépendance conditionnelle que dans les protocoles observés (respectivement 30.5 contre 25.1 pour les commutations intra-test, et 52.7 contre 45.2 pour les commutations inter-tests). Ceci signifie que le postulat d'indépendance conditionnelle entre les items, postulat sur lequel reposent les modèles de distribution des scores et les statistiques qui s'appuient sur ces modèles, est violé dans les données d'observation. Un autre résultat intéressant est que la dispersion du nombre de commutations est beaucoup plus importante dans les données observées que dans les données simulées (respectivement 7 contre .60 pour les commutations intra-test et 45.2 contre 1.4 pour les commutations inter-tests). Ceci signifie qu'il existe des différences considérables entre les individus quant à l'ampleur du phénomène de dépendance conditionnelle, tel qu'il est apprécié par le nombre de commutations entre les items. On peut supposer qu'il y a dépendance conditionnelle lorsque ce qui a été découvert dans un item du test est transféré à l'item suivant. Si cette hypothèse est correcte, l'évaluation du degré de dépendance conditionnelle entre les items, mesuré par l'ampleur de l'écart entre le nombre de commutations observé et le nombre de commutations attendu, pourrait être une méthode élégante d'évaluation du potentiel d'apprentissage au cours même de la passation du test.

A nouveau, cet exemple montre que la variabilité intra des réponses aux items d'un même test ne recèle pas seulement des phénomènes aléatoires ou d'erreur de mesure. Il ne s'agit pas davantage d'un biais qu'il faudrait chercher à éliminer pour satisfaire aux postulats sur lesquels reposent les méthodes statistiques que nous utilisons (ici le postulat d'indépendance conditionnelle). La forme de

variabilité qui s'exprime là est probablement au contraire l'expression de dynamiques du fonctionnement cognitif qui font partie intégrante de notre objet d'étude. S'il en est bien ainsi, le phénomène de dépendance conditionnelle des items implique lui aussi une révision des postulats sur lesquels reposent nos méthodes statistiques et donc une évolution de ces méthodes.

## Conclusion

La dissymétrie que les méthodes de la psychologie différentielle ont introduite entre le statut épistémologique de la variabilité inter et celui de la variabilité intra n'est pas fondée. Les modèles de l'auto-organisation dont s'inspire la psychologie cognitive, qu'il s'agisse de la théorie généralisée de l'évolution ou de la modélisation des systèmes dynamiques non linéaires, font apparaître ces deux formes de variabilité comme intrinsèques au fonctionnement et au développement cognitifs et, de ce fait, aussi fondamentales l'une que l'autre. La variabilité intra doit donc être prise comme objet d'étude au même titre que la variabilité inter et nos méthodes doivent évoluer pour mieux intégrer ces deux grandes formes de variabilité.

Une approche dynamique des différences individuelles, intégrant l'étude des variations intra au cours du temps et celle des différences dans la façon dont les individus varient, conduit à l'étude du processus de différenciation. Une telle évolution est souhaitable dans la mesure où une meilleure compréhension des différences individuelles passe par une meilleure connaissance de leur genèse. La psychologie de la différenciation, qui reste en bonne partie à inventer, serait à la psychologie différentielle ce que la psychologie génétique est à la psychologie de l'enfant.

Le niveau d'observation approprié pour cette forme de psychologie est celui de l'individu. Assez souvent, comme on l'a vu à propos de l'analyse factorielle en plan R, les méthodes utilisées en psychologie différentielle conduisent à attribuer à l'individu des structures qui caractérisent en fait la population. L'étude de la variabilité intra devrait contribuer à recentrer la psychologie sur l'étude du fonctionnement et du développement d'individus. Dans ce type d'étude, l'analyse des différences ne devrait intervenir que dans un second temps, par la comparaison de formes de fonctionnement et de développement d'abord identifiées au niveau individuel.

Pourquoi adresser aux différentialistes ce plaidoyer pour la prise en charge de l'étude de la variabilité intra ? Il est vrai que cette forme de variabilité ne relève pas particulièrement de leur domaine, du moins tel que celui-ci a été défini dans le passé, et qu'elle en a même plutôt été activement écartée. Je crois cependant que l'expérience acquise par les différentialistes dans l'étude de la variabilité inter les a mieux préparés, ne serait-ce que du point de vue méthodologique, à l'étude de toute forme de variabilité. Ils sont donc probablement les mieux préparés à explorer ce nouveau continent.

Mais la psychologie différentielle ne risque-t-elle pas de perdre son identité en élargissant ainsi son domaine ? Je ne le crois pas car je ne pense pas que l'identité de la psychologie différentielle se résume à l'étude des différences entre les individus. La centration sur les différences me paraît liée au contexte dans lequel cette sous-discipline s'est constituée, un contexte dans lequel ce sont

surtout les perspectives d'applications sociales ouvertes par l'étude des différences qui ont orienté son développement et provoqué sa cristallisation autour de la méthode des tests et de la psychométrie. Cette focalisation a fait passer au second plan des options épistémologiques qui, à mes yeux, caractérisent cette sous-discipline de façon plus fondamentale. L'une est la centration sur l'individu, une option qu'elle partage avec la psychologie clinique, dont elle se distingue par ailleurs en choisissant les méthodes quantitatives pour atteindre cet objectif. L'autre est de s'appuyer préférentiellement sur les variations « organisées par la nature », dont les variations inter ne sont qu'une partie, pour mettre à jour les invariants de la conduite. Cette seconde option a pour originalité de préserver l'unité fonctionnelle des conduites étudiées et peut en ce sens être qualifiée d' « écologique ». Il me semble que l'intégration de l'étude de la variabilité intra dans le domaine de cette sous-discipline la recentre plutôt sur les deux options qui définissent son identité profonde, une identité que l'appellation de psychologie individuelle, employée par Binet, exprimait peut-être mieux que celle de psychologie différentielle.

## Références

- Ashcraft, M.H. (1987). Children's knowledge of simple arithmetic: A developmental model and simulation. In J. Bisanz, C.J. Brainerd, & R. Kail, (Eds.) *Formal Methods in Developmental Psychology*. New-York: Springer-Verlag.
- Cattell, R.B. (1952). The three basic factor-analytic research designs – Their interactions and derivatives. *Psychological Bulletin*, 49, 499-520.
- Gogate, L.J., Walker-Andrews, A.S., & Bahrick, L. (2001). The intersensory origins of word comprehension: an ecological-dynamic systems view. *Developmental Science*, 4, 1-37.
- Juhel, J. (1997). Fonctionnement des systèmes psychologiques et modélisation de la variabilité. In J. Juhel, T. Marivain, & G. Rouxel (Eds.), *Psychologie et différences individuelles: questions actuelles* (pp. 35-40). Rennes : PUR
- Juhel, J. (à paraître). L'approche dynamique de la variabilité cognitive : une direction de recherche à emprunter ? In G. Foliot & R. Martin (Eds.), *La cognition non standard*. Bruxelles : de Boeck Université.
- Kimura, M. (1980). La théorie neutraliste de l'évolution moléculaire. *Pour la Science*, 27, 48.
- Lautrey, J., Mazoyer, B., & van Geert, P. (Eds.). (2002). *Invariants et Variabilité dans les Sciences Cognitives*. Paris : Editions de la Maison des Sciences de l'Homme..
- Lewis, M. D. (1997). Personality self-organization: cascading constraints on cognition-emotion interaction. In A. Fogel, M.C. Lyra, & J. Valsiner (Eds.), *Dynamics and indeterminism in developmental and social processes* (pp. 193-216). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- MacWhinney, B. , & Bates, E. (1989). *The crosslinguistic study of sentence processing*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Maltzmann, I. (1955). Thinking: from a behavioristic point of view. *Psychological Review*, 62, 275-286.
- Marsiske, M., Lang, F.R., Baltes, P. B., Baltes, M.M. (1995). Selective optimization with compensation: Life-span perspectives on successful human development. In R.A. Dixon & L. Bäckman (Eds.) *Compensating for Psychological Deficits and Declines: Managing Losses and Promoting Gains* (pp. 35-79). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Molenaar, P.C.M. (1994). Dynamic latent variable models in developmental psychology. In A. von Eye & C.C. Clogg (Eds.), *Analysis of Latent Variables in Developmental Research*. Newbury Park (p. 155-180), CA: Sage
- Molenaar, P.C.M. (2002). Variabilité interindividuelle et intra-individuelle dans le développement cognitif. Les approches idiographiques et la théorie des systèmes développementaux. In J. Lautrey, B. Mazoyer & P. van Geert (Eds.), *Invariants et Variabilité dans les Sciences Cognitives*. Paris : Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.
- Molenaar, P.C.M., Boosma, D.I., & Dolan, C.V. (1993). A third source of developmental differences. *Behavior Genetics*, 23, 519-524.
- Molenaar, P.C.M., Huizenga, H.M., & Nesselroade, J.R. (sous presse). The relationship between the structure of interindividual and intraindividual variability: A theoretical and empirical vindication of developmental systems theory. In U.M.

- Staudinger & U. Lindenberger (Eds.) *Understanding Human Development*. Dordrecht : Kluwer.
- Molenaar, P.C.M., & Raijmakers, M.E.J. (1999). Additional aspects of third source variation for the genetic analysis of human development and behavior. *Twin Research*, 2, 49-52.
- Ohlmann, T. (1995). Processus vicariants et théorie neutraliste de l'évolution : une nécessaire convergence. In J. Lautrey (Ed.) *Universel et Différentiel en Psychologie* (pp. 77 –105). Paris : PUF.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1986). *La Nouvelle Alliance*. Paris : Gallimard.
- Reuchlin, M. (1978). Processus vicariants et différences individuelles. *Journal de Psychologie*, 2, 133-145.
- Reuchlin, M. (1999). *Evolution de la Psychologie Différentielle*. Paris : PUF
- Reuchlin, M. (2001). Origine et développement du laboratoire de psychologie différentielle de Paris. *Psychologie et Histoire*, 2, 59-85. Revue électronique : <http://lpe.psych.univ-paris5.fr>.
- Siegler, R.S. (1984). Mechanisms of cognitive growth: Variation and selection. In R.J. Sternberg (Ed.), *Mechanisms of cognitive development*. New-York: Freeman and Co, pp. 141-162.
- Siegler, R.S. (1996). *Emerging Minds. The Process of Change in Children's Thinking*. Oxford: Oxford University Press.
- Siegler, R.S. & Campbell, J. (1989). Individual differences in children's strategy choices. In P.L. Ackerman, R.J. Sternberg, & R. Glaser (Eds.), *Learning and Individual Differences: Advances in Theory and Research*. New-York: Freeman and company.
- Siegler, R.S., & Jenkins, E. (1989). *How Children Discover New Strategies*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Skinner, B.F. (1981). Selection by consequences. *Science*, 213, 501-504.
- Smith, L.B., Thelen, E., Titzer, R., McLin, D. (1999). Knowing in the context of acting : The task dynamics of the A-not-B error. *Psychological Review*, 106, 235-260.
- Thelen, E. (1986). Tread-mill elicited stepping in seven-month-old infants. *Child development*, 57, 1498-1506.
- Thelen, E. (1990). Dynamical systems and the generation of individual differences. In J. Colombo & J. Fagen (Eds.), *Individual differences in infancy: Reliability, Stability, Prediction* (pp. 19-43). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Thelen, E., Fisher, D.M., & Ridley-Johnson, R. (1984). The relationship between physical growth and a newborn reflex. *Infant behavior and development*, 7, 479-493.
- Thelen, E., & Smith, L.B. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Van der Maas, H.L.J., & Molenaar, P.C.M. (1992). Stagemise cognitive development: an application of catastrophe theory. *Psychological Review*, 99, 395-417.
- Thorndike, E.L. (1905). *The Elements of Psychology*. New-York: Seiler
- van Geert, P. (1998). A dynamic systems model of basic developmental mechanisms: Piaget, Vygotsky, and beyond. *Psychological Review*, 105, 634-677.
- van Geert, P. (2002). Variabilité intra-individuelle et recherche d'une approche nouvelle en psychométrie. In J. Lautrey, B. Mazoyer & P. van Geert (Eds.),

*Invariants et Variabilité dans les Sciences Cognitives*. Paris : Editions de la Maison des Sciences de l'Homme.

.van Geert, P. (2003) . Measuring intelligence in a dynamic systems and contextualist framework. In R.J. Sternberg, J. Lautrey, & T.I. Lubart (Eds.). *Models of Intelligence. International Perspectives*. Washington, DC: APA Press.

van Geert, P., & van Dijk, M. (2002). Focus on variability: New tools to study intra-individual variability in developmental data. *Infant Behavior and Development*, 25, 340-374.